A beton összetételének tervezése és ellenőrzése

Dr. Kausay Tibor

címzetes egyetemi tanár

BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, Budapest





2010/6/6 3:59

EMT XVII. NEMZETKÖZI ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA

Csíksomlyó, 2013. június 14 – 15.

Beton összetételét

- **szerkezeti** és
- **anyagtani**

feltételeknek megfelelően kell megtervezni és ellenőrizni.

A meghatározandó szerkezeti feltételek a következők:

1. **építmény *tervezési élettartama*;**
2. **építmény *környezeti osztálya*;**
3. **építmény *szerkezeti osztálya*;**
4. **vasbeton szerkezeti elemek *betonfedése*;**
5. **szerkezeti elemek betonja *nyomószilárdságának tervezési értéke* és az *előírt jellemző érték számításmódja*.**

1. Építmény *tervezési élettartama*

A beton, vasbeton, feszített vasbeton szerkezet és a készítéséhez használt beton akkor tartós, ha a terhelő erőkből és terhelő mozgásokból adódó igénybevételeket, valamint a környezeti hatásokat – üzemszerű használat és megfelelő karbantartás mellett, de jelentős javítási munkák nélkül – a tervezési élettartam alatt károsodás nélkül viseli.

A *tervezési élettartam követelmény* (előírás), míg a használati élettartam tényleges, tapasztalati érték. A tartós beton használati élettartama nagyobb, vagy legalább egyenlő kell legyen, mint a tervezési élettartam:

Használati élettartam ≥ *Tervezési élettartam*

Tervezési élettartam az MSZ EN 1990:2011 szabvány 2.3. szakasza alapján

Tervezési élettartam osztály	Előírt tervezési élettar-tam, év	Példák
1.	10	Ideiglenes tartószerkezetek. Az olyan tartószerkezeteket vagy azok részeit, amelyek újrafelhasználás céljából szétszerelhetők, és várhatóan újra fel is fogják használni, nem helyes ideiglenes szerkezetnek tekinteni. Nem szabad ideiglenes tekinteni az olyan kiegészítő szerkezeteket (például autópálya melletti, közel álló zajvédő falelemeket), amelyek cseréje a forgalom leállításával jár.
2.	10-25	Cserélhető tartószerkezeti részek, például darupálya tartók, saruk.
3.	15-30	Mezőgazdasági és hasonló tartószerkezetek.
4.	50	Épületek tartószerkezetei és egyéb szokásos tartószerkezetek.
5.	100	Monumentális építmények tartószerkezetei, hidak és más építőmérnöki szerkezetek, azaz jelentős műtárgyak.

A beton tervezési élettartama épületek és egyéb szokásos tartószerkezetek esetén *általában 50 év*, monumentális építmények, magyarán *műtárgyak esetén 100 év*.

A beton *nyomószilárdsági osztályát*, *környezeti osztályát*, *összetételét*, *a betonfedést* stb. a tervezési élettartamnak megfelelően kell *megtervezni* és megvalósítani, a vizsgálati eredményeket a tervezési élettartam figyelembevételével kell értékelni.

A tervezési élettartamot – ha az nem 50 év – külön is fel kell tüntetni a *beton jelében*.

2. Építmény *környezeti osztálya*

Alkalmazási terület	Környezeti osztály jele	Beton nyomószilárdsági osztálya, legalább	Beton cementtartalma, legalább, kg/m³	Beton víz-cement tényezője, legfeljebb	Friss beton levegőtartalma, legfeljebb térfogat %
Karbonátosodásnak ellenálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek betonja					
Száraz vagy tartósan nedves helyen, állandóan víz alatt	XC1	C20/25	260	0,65	2,0
	Például: Belső pillér, belső födém				
Nedves, ritkán száraz helyen	XC2	C25/30	280	0,60	2,0
	Például: Épületalap, támfalalap, mélyalap, kiegyenlítő lemez				
Mérsékelten nedves helyen, nagy relatív páratartalmú épületben vagy a szabadban, esőtől védett helyen	XC3	C30/37	280	0,55	2,0
	Például: Fürdőépület szerkezete				
Váltakozva nedves és száraz, víznek kitett helyen	XC4	C30/37	300	0,50	2,0
	Például: Szárnyfal, pincefal, fúrt cölöp, cölöp-fejgerenda				

Alkalmazási terület	Környezeti osztály jele	Beton nyomó-szilárdsági osztálya, legalább [1)]	Beton cement-tartalma, legalább, kg/m^3	Beton víz-cement tényezője, legfeljebb	Friss beton levegő-tartalma, térfogat%
Függőleges felületű fagyálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek betonja					
Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli fagyálló beton	XF1	C30/37	300	0,55	max. 1,5
	Légbuborékképző adalékszer nélkül készül a beton. Például: Monolit és előregyártott szerkezetek				
Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sók permetének kitett fagyálló beton	XF2	C25/30	300	0,55	
	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton. A friss beton megkövetelt és megengedett összes (légpórus + légbuborék) levegő-tartalmának értéke az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának a függvénye. Példa: Útépítési szerkezetek				
Vízszintes felületű fagyálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek betonja					
Vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli fagyálló beton	XF3	C30/37	320	0,50	
	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton. A friss beton megkövetelt és megengedett összes levegő-tartalmának értéke az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának a függvénye. Példa: Útépítési szerkezetek, híd pályalemezek				
Vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sóknak közvetlenül kitett, fagyálló beton	XF4	C30/37	340	0,45	
	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton. A friss beton megkövetelt és megengedett összes levegő-tartalmának értéke az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának a függvénye. Például: Útpályabeton, repülőtéri kifutópálya, híd pályalemezek				

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány NAD 10, táblázata szerint, a légbuborékképző adalékszerrel készített friss beton megkövetelt és megengedett összes levegő-tartalmának (légpórus + légbuborék) értéke az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának a függvénye. Eszerint:

Környezeti osztály	XF2 és XF3	XF4
Legnagyobb szemnagyság, mm	Összes levegő-tartalom a *friss betonban*, térfogat%	
4	4,0 – 6,0	7,0 – 11,0
8 és 12	4,0 – 6,0	6,0 – 10,0
16	3,0 – 5,0	4,5 – 8,5
24 és 32	2,5 – 5,0	4,0 – 8,0
63	2,0 – 4,0	3,0 – 7,0

Természetes talaj és talajvíz, vagy egyéb agresszív közeg kémiai korróziójának ellenálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek betonja. Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány különbséget tesz az *oldódásos (XAL) és a szulfátos duzzadásos (XAT) betonkorrózió* között

Agresszív talajjal, talajvízzel vagy egyéb agresszív közeggel érintkező, enyhén korrózióálló beton	**XA1**	**C30/37**	**300**	**0,55**	**2,0**
	XA1T duzzadásos korrózió esetén CEM I-SR 5 (MSZ EN 197-1:2011) szulfátálló, vagy CEM II-MSR, CEM III/A-MSR (MSZ 4737-1:2013) mérsékelten szulfátálló cementet kell, vagy ezeknél jobb szulfátállóságú cementet szabad használni. Például: Fúrt cölöp, szennyvíz ülepítő medence, trágyalé tartály				
Agresszív talajjal, talajvízzel vagy egyéb agresszív közeggel érintkező, mérsékelten korrózió- és szulfátálló beton	**XA2**	**C30/37**	**320**	**0,50**	**2,0**
	XA2T duzzadásos korrózió esetén CEM I-SR 3 vagy CEM III/B-SR (MSZ EN 197-1:2011) szulfátálló cementet kell, vagy ezeknél jobb szulfátállóságú cementet szabad használni. XA2L oldódásos korrózió esetén ajánlott védőréteggel ellátni a betont. Például: Csatorna				
Agresszív talajjal, talajvízzel vagy egyéb agresszív közeggel érintkező, erősen korrózió- és szulfátálló beton	**XA3**	**C35/45**	**360**	**0,45**	**2,0**
	XA3T duzzadásos korrózió esetén CEM I-SR 0 vagy CEM III/C-SR (MSZ EN 197-1:2011) szulfátálló cementet kell használni. Az XA3L oldódásos korrózió esetén védőréteggel kell a betont ellátni (DIN 1045-2:2008). Például: Ipari szennyvízzel érintkező beton, csatorna				

ÖNORM B 4710-1:2007 szerint az XA környezeti osztályban CEM II/A-L és CEM II/B-L, illetve CEM II/A-LL és CEM II/B-LL mészkőliszt-portlandcementet nem szabad használni. Kivétel a CEM II/A-L és CEM II/A-LL mészkőliszt-portlandcement, amelyet XAL oldódásos korrózió esetén szabad használni.

XAL oldódásos korrózió (például sav, $MgCl_2$, NH_4Cl hatása) esetén a CEM I-SR típusú szulfátálló cementek alkalmazása a cementkő nagy szabad kalcium-hidroxid ($Ca(OH)_2$, portlandit) tartalma miatt kockázatos.

Valamennyi XA környezeti osztályban alkalmazható a CEM III típusú kohósalakcement valamelyik fajtája.

3. Építmény *szerkezeti osztálya*

<table>
<tr><td colspan="6">Példa a szerkezeti osztályra (S…), ha az erőtani számítás szerint szükséges („erőtani”) nyomószilárdsági osztály a <u>környezeti osztály feltétele szerinti</u> és a minőségellenőrzés <u>nem kiemelt</u> szintű (MSZ EN 1992-1-1:2010, 4.3N tábl.)</td></tr>
<tr><td>Környezeti osztály</td><td>XC1</td><td>XC2</td><td>XC3, XC4</td><td>XF1, XA1, XA2</td><td>XA3</td></tr>
<tr><td>Ha az „erőtani” nyomó-szilárdsági osztály, legalább</td><td>C20/25</td><td>C25/30</td><td>C30/37</td><td>C30/37</td><td>C35/45</td></tr>
<tr><td>Tervezési élettartam</td><td colspan="5">Szerkezeti osztály valamennyi környezeti osztályban</td></tr>
<tr><td>< 50 év</td><td colspan="5">S3</td></tr>
<tr><td>50 év</td><td colspan="5">S4</td></tr>
<tr><td>100 év</td><td colspan="5">S6</td></tr>
</table>

Példa a szerkezeti osztályra (S…), ha *az erőtani számítás szerint szükséges* („erőtani”) *nyomószilárdsági osztály a környezeti osztály feltétele szerintinél két osztállyal nagyobb, függetlenül a minőségellenőrzés színvonalától* (MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.3N táblázata)

Környezeti osztály	XC1	XC2	XC3, XC4	XF1, XA1, XA2	XA3
Ha az „erőtani” nyomó-szilárdsági osztály, legalább	C30/37	C35/45	C40/50	C40/50	C45/55
Tervezési élettartam	Szerkezeti osztály valamennyi környezeti osztályban				
< 50 év	S2				
50 év	S3				
100 év	S5				

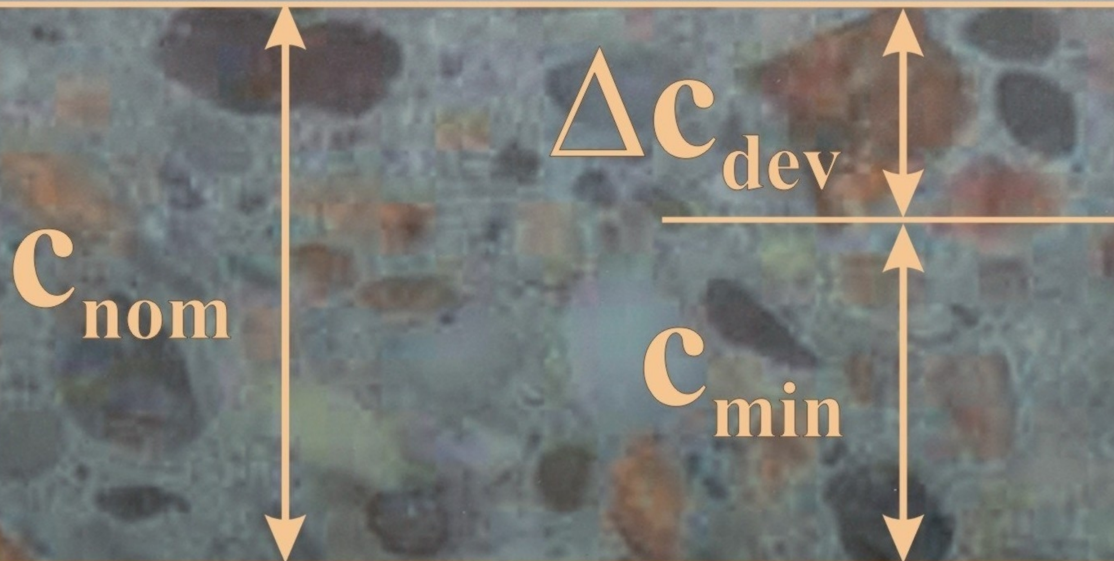
Szerkezeti osztály (S…) ***kiemelt szintű minőségellenőrzés*** (*amikor* a betongyártást, illetve betonszerkezet-gyártást, úgy mint a betonkészítést, betonacél szerelést, beton bedolgozást, tömörítést, utókezelést kiemelt szintű minőség-ellenőrzés kíséri) esetén, *vagy* ***felületszerkezetek*** esetén (*amikor* a vasalás helyzetét nem befolyásolja az építési módszer) függetlenül a minőségellenőrzés színvonalától. (MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.3N táblázata)

Tervezési élettartam	Szerkezeti osztály valamennyi környezeti osztályban
< 50 év	S2
50 év	S3
100 év	S5

Megjegyzés: E táblázat szerinti szerkezeti osztály jele tovább nem csökkenthető, akkor sem, ha az előző alkalmazásának feltételei teljesülnek.

Szerk. oszt. S2	Szerk. oszt. S3	Szerk. oszt. S4	Szerk. oszt. S5	Szerk. oszt. S6
	Terv. é. < 50 év	Terv. é. 50 év		Terv. é. 100 év
Általában ajánlott	„C” osztály „X” osztályban előírt	C” osztály „X” osztályban előírt		C” osztály „X” osztályban előírt
	Minőségell. nem kiemelt szintű	Minőségell. nem kiemelt szintű		Minőségell. nem kiemelt szintű
Terv. é. < 50 év	Terv. é. 50 év		Terv. é. 100 év	
„C” osztály „X” osztályban előírtnál két osztállyal nagyobb	„C” osztály „X” osztályban előírtnál két osztállyal nagyobb		„C” osztály „X” osztályban előírtnál két osztállyal nagyobb	
Minőségell. szintjétől független	Minőségell. szintjétől független		Minőségell. szintjétől független	
„C” osztály „X” osztályban előírt	„C” osztály „X” osztályban előírt		„C” osztály „X” osztályban előírt	
Kiemelt szintű minőségell. vagy felületszerk.	Kiemelt szintű minőségell. vagy felületszerk.		Kiemelt szintű minőségell. vagy felületszerk.	

4. Vasbeton szerkezeti elemek *betonfedése*



Az előírt névleges betonfedés (c_{nom}) az előírt legkisebb betonfedés (c_{min}) és a kötelező ráhagyás (Δc_{dev}) összege:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

(Δc_{dev} → a „dev” index az eltérésre „deviation” utal)

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány értelmében a c_{min} legkisebb előírt betonfedés értéke

- **a tapadási követelmény miatt szükséges ($c_{min,b}$, a „b” index a tapadásra „bond” utal) legkisebb betonfedés, amely nem lehet kisebb, mint a betonacél vagy a betonacél-köteg átmérője, és**
- **a környezeti hatások miatt a betonacél és feszítőacél korrózióvédelme (tartósság), valamint a tűzvédelem és a kopásállóság érdekében szükséges ($c_{min,dur}$, a „dur” index a tartósságra „durability” utal) legkisebb betonfedés**

***közül a nagyobbik*, de legalább 10 mm.**

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány a környezeti hatások miatt a betonacél korrózióvédelme érdekében szükséges ($c_{min,dur}$) legkisebb betonfedéseket *a különböző környezeti osztályokra a szerkezeti osztályok függvényében* adja meg.

Környezeti hatások miatt előírt legkisebb betonfedések ($c_{min,dur}$) külön védelemmel el nem látott, MSZ EN 10080:2005, MSZ 339:2010 J. szerinti *betonacélok esetén* az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány alapján

Szerke-zeti osztály jele	Környezeti osztály								
	X0	XC1	XC2, XC3	XC4	XD1, XS1	XD2, XS2	XD3, XS3	XF1–XF4 XA1–XA3 XV1(H)––XV3(H) XF2(H), XF3(H)	XK1(H)––XK5(H)
	Környezeti hatások miatt előírt legkisebb betonfedés ($c_{min,dur}$), mm								
S1	10	10	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	10	15	20	25	30	35	40	45
S3	10	10	20	25	30	35	40	45	50
S4	10	15	25	30	35	40	45	50	55
S5	15	20	30	35	40	45	50	55	60
S6	20	25	35	40	45	50	55	60	65

Környezeti hatások miatt előírt legkisebb betonfedések ($c_{min,dur}$)
prEN 10138-2:2000 (huzalok), prEN 10138-3:2000 (pászmák), MSZ 5720:1993 szerinti *feszítőacélok esetén* az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány alapján

Szerke-zeti osztály jele	Környezeti osztály								
	X0	XC1	XC2, XC3	XC4	XD1, XS1	XD2, XS2	XD3, XS3	XF1–XF4 XA1–XA3 XV1(H)––XV3(H) XF2(H), XF3(H)	XK1(H)––XK5(H)
	Környezeti hatások miatt előírt legkisebb betonfedés ($c_{min,dur}$), mm								
S1	10	15	20	25	30	35	40	45	50
S2	10	15	25	30	35	40	45	50	55
S3	10	20	30	35	40	45	50	55	60
S4	10	25	35	40	45	50	55	60	65
S5	15	30	40	45	50	55	60	65	70
S6	20	35	45	50	55	60	65	70	75

Előregyártott vasbeton termékek előírt legkisebb betonfedése ($c_{min,dur}$) mm-ben, a korrózióvédelem érdekében, az MSZ EN 13369:2004 szabvány szerint

Környezeti osztály	Betonacélok lemezben		Betonacélok egyéb szerkezetben		Előfeszített betétek lemez szerkezetben		Előfeszített betétek egyéb szerkezetben	
	$\geq C_0$	$< C_0$	$\geq C_0$	$< C_0$	$\geq C_0$	$< C_0$	$\geq C_0$	$< C_0$
X0 C_{min} = C20/25 C_0 = C30/37	10	10	10	10	10	10	10	10
XC1 C_{min} = C20/25 C_0 = C30/37	10	10	10	10	15	15	15	20
XC2, XC3 * C_{min} = C25/30 C_0 = C35/45	10	15	15	20	20	25	25	30
XC4 C_{min} = C30/37 C_0 = C40/50	15	20	20	25	25	30	30	35
XD1, XS1 C_{min} = C30/37 C_0 = C40/50	20	25	25	30	30	35	35	40
XD2, XS2 C_{min} = C30/37 C_0 = C40/50	25	30	30	35	35	40	40	45
XD3, XS3 C_{min} = C35/45 C_0 = C45/55	30	35	35	40	40	45	45	50

Megjegyzés: A C_{min} a legkisebb előírt beton nyomószilárdsági osztály, a C_0 az előírtnál (C_{min}) kettővel nagyobb nyomószilárdsági osztály.

A betonfedés korrózió miatt szükséges mértéke S6 szerkezeti osztályú és 100 év tervezési élettartamú szokványos szerkezet esetén az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány alapján, tehát, ha az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti osztály feltétele szerinti és a minőségellenőrzés nem kiemelt szintű

Környezeti osztály	Korrózió miatt szükséges legkisebb betonfedés, $c_{min,dur}$ mm		Kötelező ráhagyás Δc_{dev}, mm
	Betonacél	Feszítőbetét	
X0	20	20	10
XC1	25	35	10
XC2 – XC3	35	45	15
XC4	40	50	15
XD1 és XS1	45	55	15
XD2 és XS2	50	60	15
XD3 és XS3	55	65	15
XF1 – XF4 XA1 – XA3 XV1(H) – XV3(H)	60	70	15
XK1(H) – XK4(H)	65	75	15

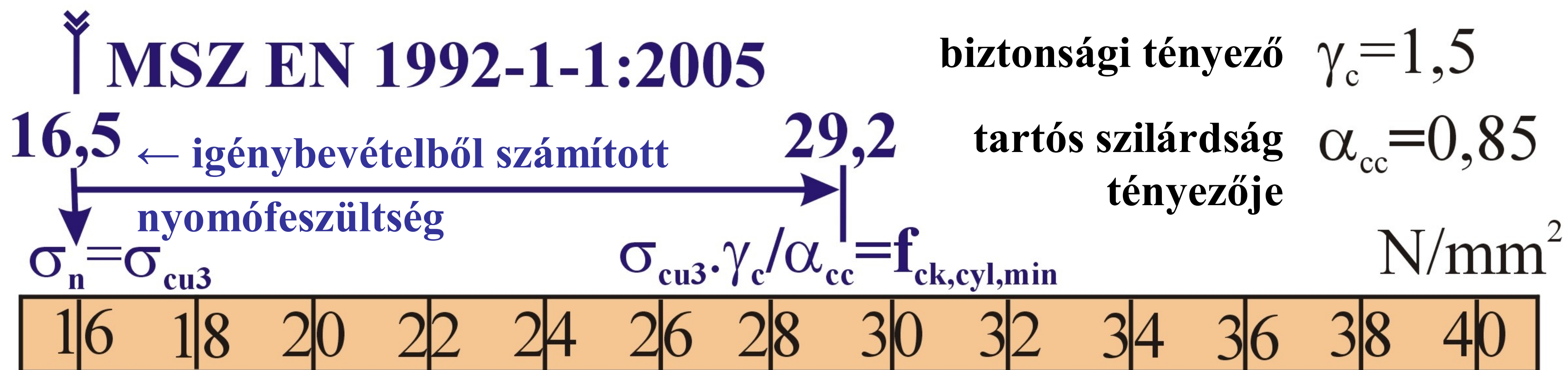
5. Szerkezeti elemek betonja *nyomószilárdságának tervezési értéke* és *előírt jellemző értéke*

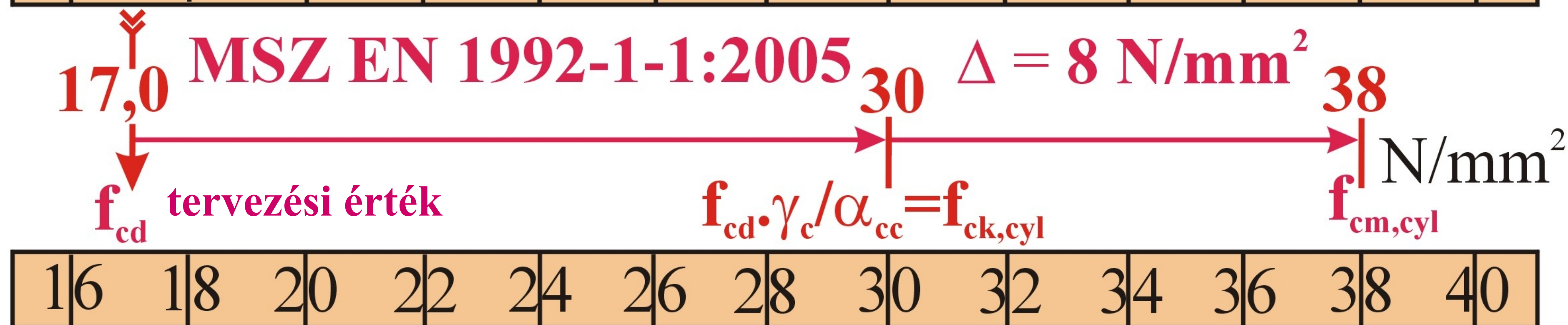
Az MSZ EN 1992-1-1:2010 és MSZ EN 1992-2:2009 Eurocode 2 szabványok szerint a tartószerkezeteket teherbírásra, használhatóságra, tűzhatásra és egyéb rendkívüli hatásokra adott megbízhatósággal, a parciális (osztott biztonsági) tényezők módszerének alkalmazásával, az előirányzott tervezési élettartam idejére kell megtervezni.

A tartószerkezetek teherbírási határállapotai a szilárdság kimerülésével, fáradási tönkremenetellel, az állékonyság elvesztésével jöhetnek létre.

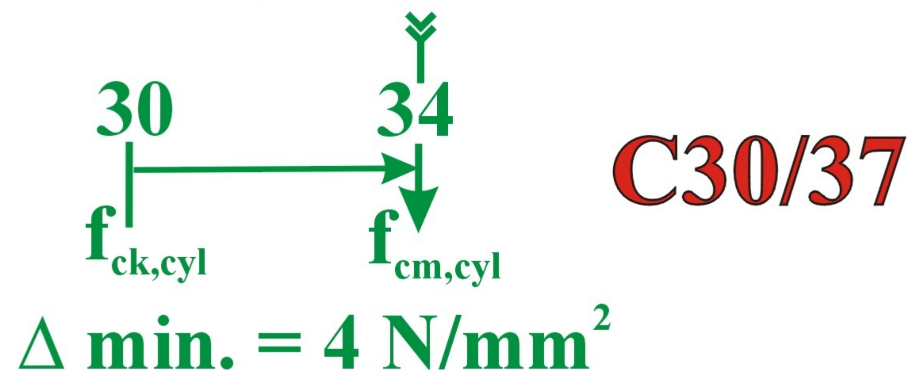
Valamely tartószerkezet teherbírása az MSZ EN 1990:2011 szabvány 6.4.2. szakasza szerint akkor megfelelő, ha a teherbírás tervezési értéke (R_d) a tartó minden keresztmetszetében az igénybevétel tervezési értékénél (E_d) nagyobb vagy azzal legfeljebb egyenlő:

$$E_d \leq R_d$$





MSZ EN 206-1:2002 és
MSZ 4798-1:2004

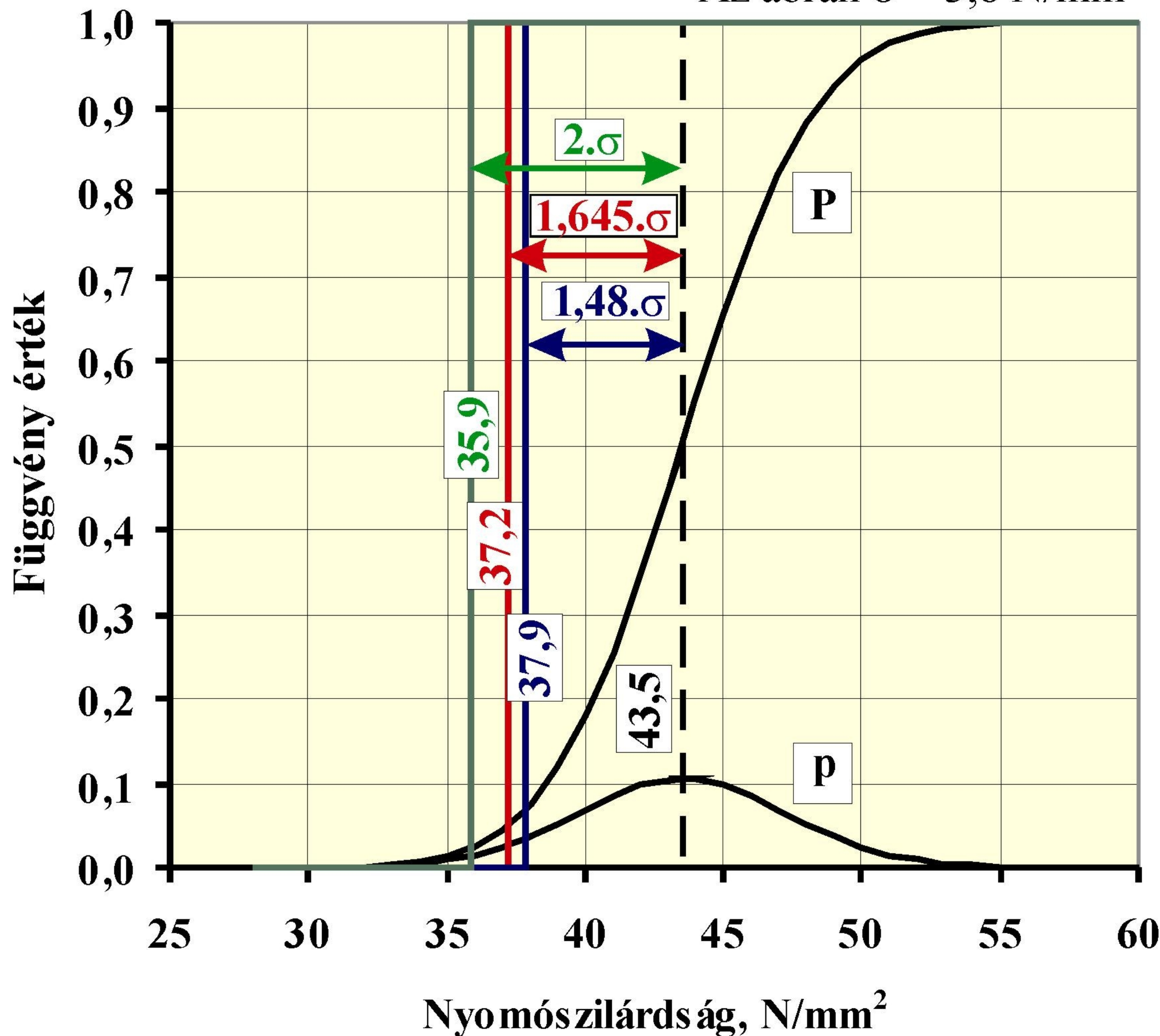


A beton próbahengeren értelmezett nyomószilárdsága tervezési, jellemző és átlag értékének összevetése a tartós szilárdság figyelembevételével

A beton összetételének

tervezése és ellenőrzése során során figyelembe veendő anyagtani feltételek a következők:

6. nyomószilárdság *alulmaradási tényezője*;
7. *Abrams*-féle *víz-cement tényező* törvény;
8. adalékanyag névleges *legnagyobb szemnagysága*;
9. adalékanyag *szemmegoszlási határgörbéje*;
10. adalékanyag *Abrams*-féle *finomsági modulusa*;
11. friss beton *konzisztenciája;*
12. friss beton *vízigénye*;
13. betömörített friss beton *cementtartalma*;
14. *lisztfinomságú szemek* mennyisége;
15. betömörített *friss beton levegőtartalma és térfogata*;
16. nyomószilárdság vizsgálati eredmények *átszámítása végig víz alatt tárolt Ø300·150 mm méretű próbahengeren értelmezett nyomószilárdságra*.



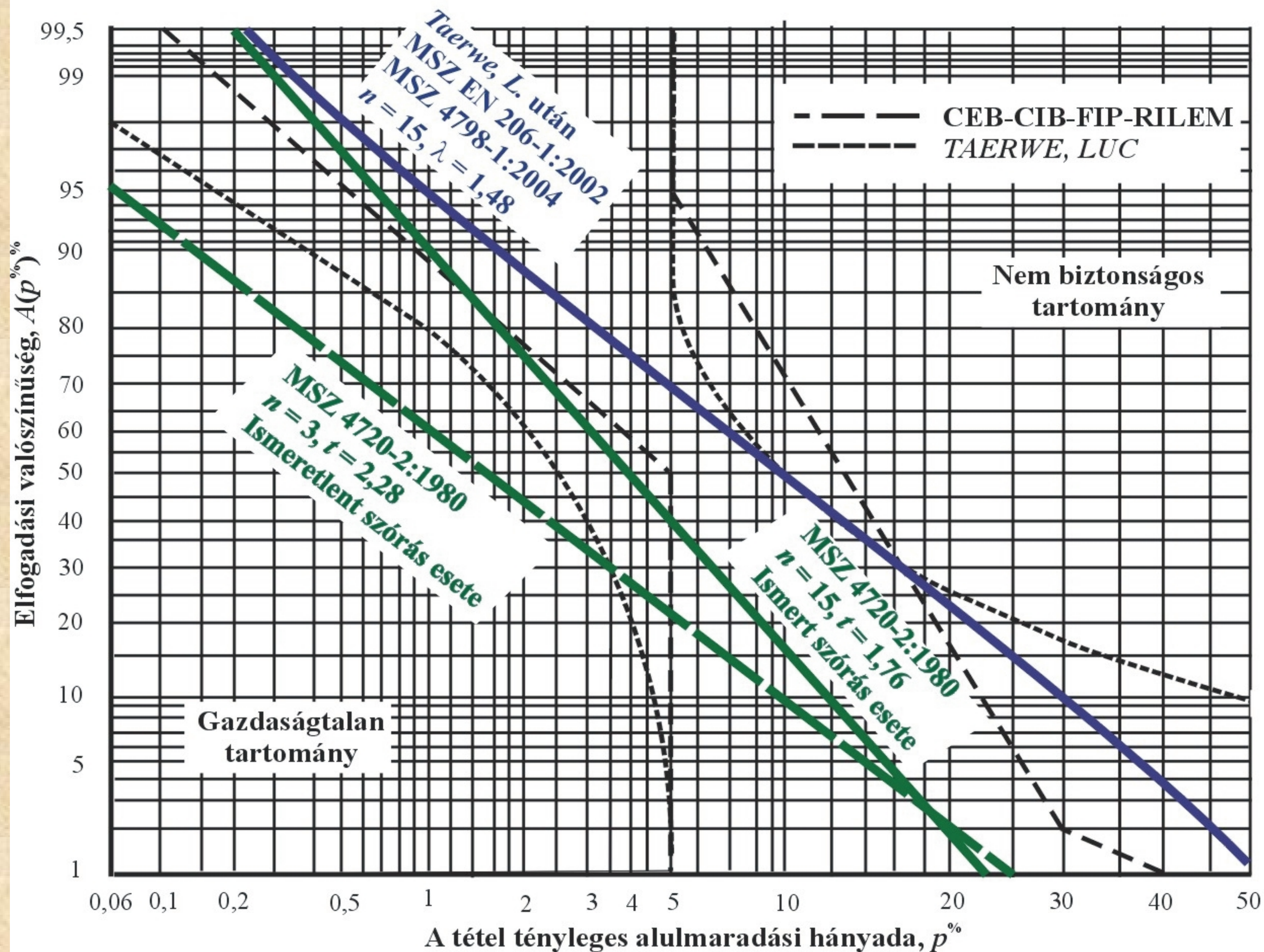
6. Nyomószilárdság *alulmaradási tényezője*

Student **szerint, *n* függvényében, például, ha *n* = 6, akkor t_6 = 2,015**

Gauss **szerint, ha *n* = ∞, akkor λ_∞ = 1,645**

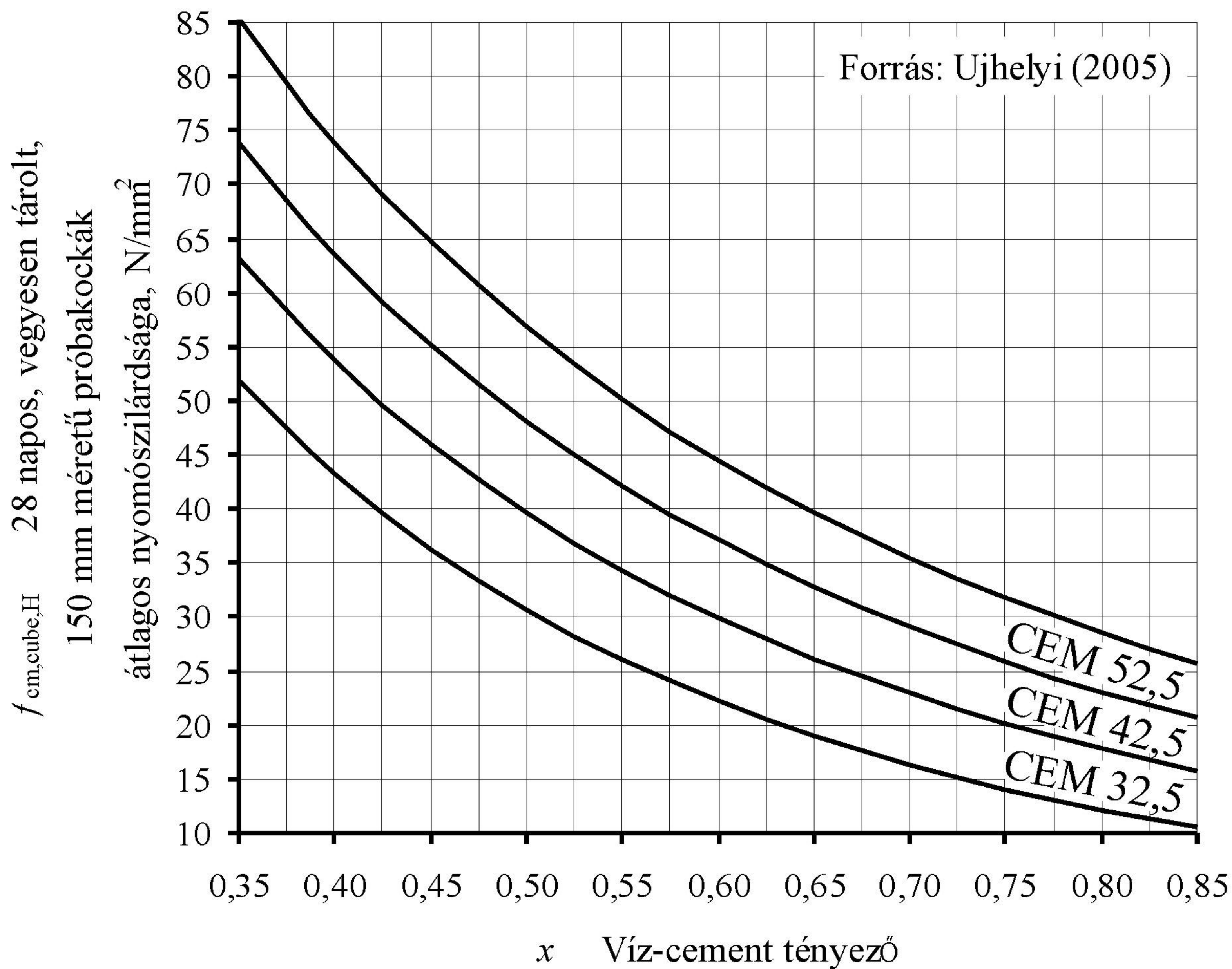
Taerwe **szerint, ha *n* = 15, akkor λ_{15} = 1,48**

$$f_{ck} = f_{cm} - \lambda_n \cdot \sigma_n$$

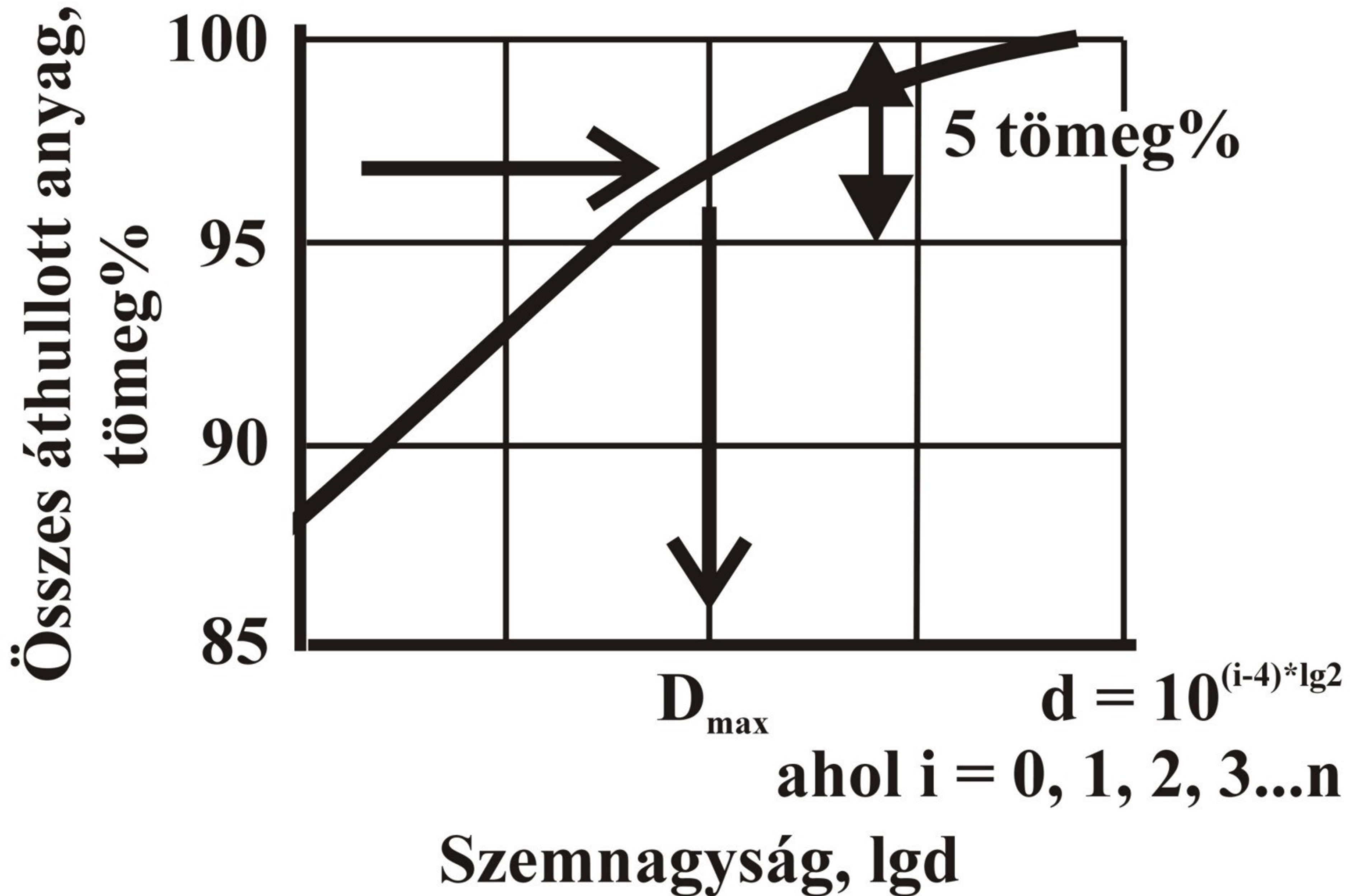


Az OC-görbe (működési vagy elfogadási jelleggörbe) valamely *p* alulmaradási hányadú tétel *A*(p) elfogadási valószínűségét adja meg, ha a mintavételek *n* száma és a megengedett nem megfelelő minták $k_{megengedett}$ száma adott.

7. *Abrams*-féle ***víz-cement tényező*** törvény



8. Adalékanyag névleges *legnagyobb szemnagysága*

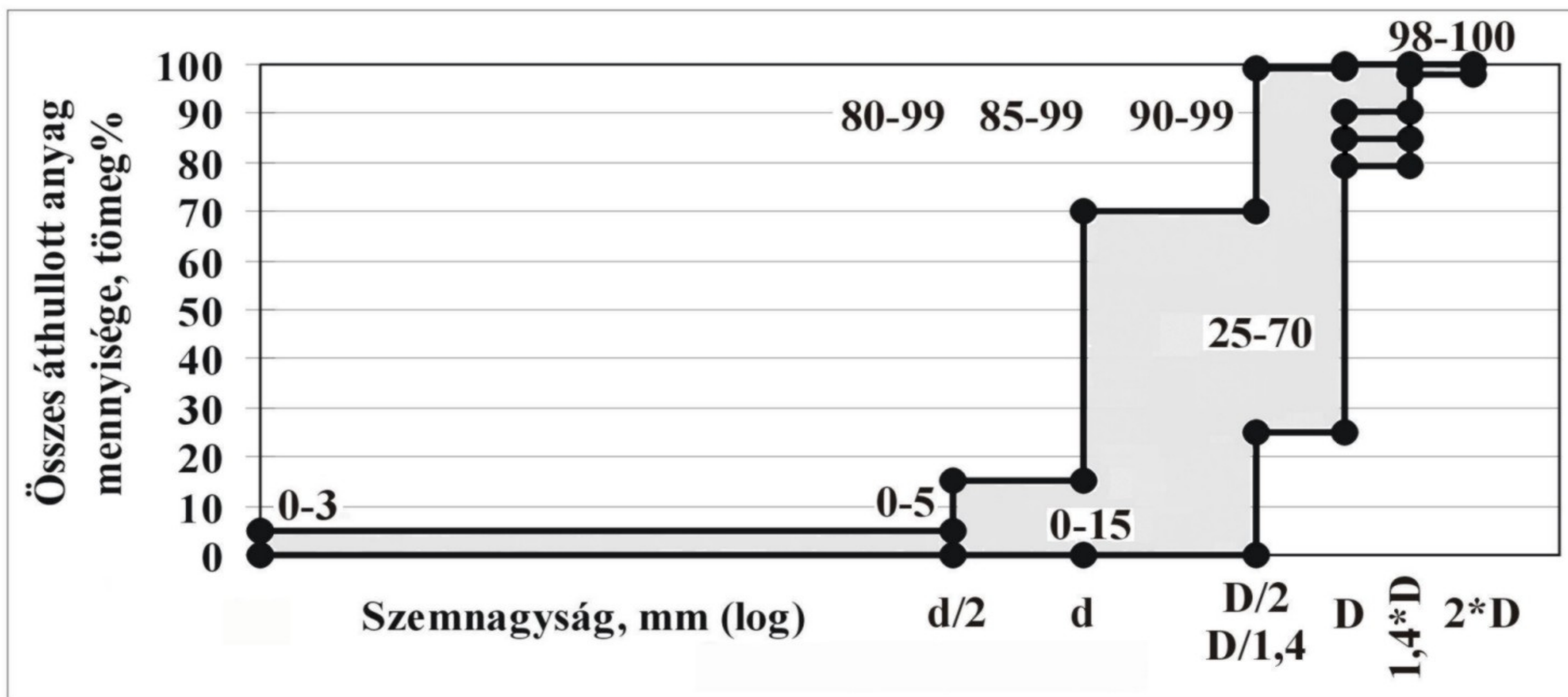


A D_{max} értéke nem lehet nagyobb, mint a következő három adat közül a legkisebb:

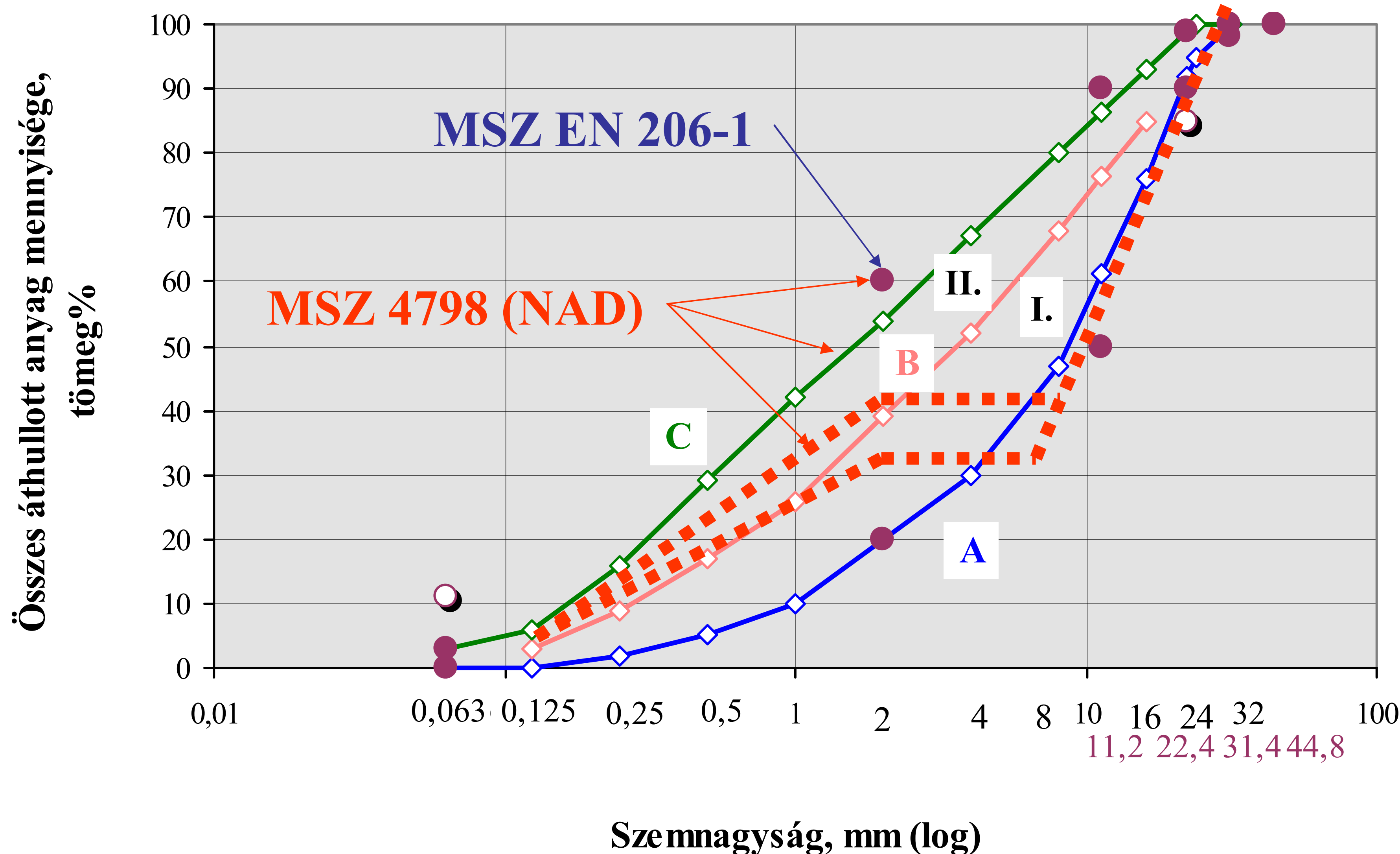
- **a szerkezetrész legkisebb méretének *egyharmada*;**
- **a névleges betonfedés, c_{nom} *kétharmada*;**
- **az acélbetétek egymástól való legkisebb távolságának (a legkisebb szabad nyílásnak) *kétharmada*.**

9. Adalékanyag *szemmegoszlási határgörbéje*

Az MSZ EN 12620:2008 szerinti osztályozott adalékanyag frakciók szemmegoszlási követelményének vázlata



9. Adalékanyag *szemmegoszlási határgörbéje*



A lépcsős szemmegoszlás egy-lépcsős.

A hiányzó szemeknél finomabb szemek mennyisége a keveréknek 30-40 tömegszázalékát,

illetve a hiányzó szemeknél durvább szemek mennyisége a keveréknek 60-70 tömegszázalékát tegye ki.

(A lépcső az összes áthullott anyag mennyiség (35±5) tömegszázalék közötti tartományában helyezkedjék el.)

A lépcső kezdőpontja

- a 8 mm legnagyobb szemnagyságú adalékanyag esetén a 0,5 mm-es,
- a 12 mm és 16 mm legnagyobb szemnagyságú adalékanyag esetén az 1 mm-es,
- a 20 mm, 24 mm és 32 mm legnagyobb szemnagyság esetén a 2 mm-es,
- a 48 mm és 63 mm legnagyobb szemnagyság esetén a 4 mm-es szemnagyságnál,

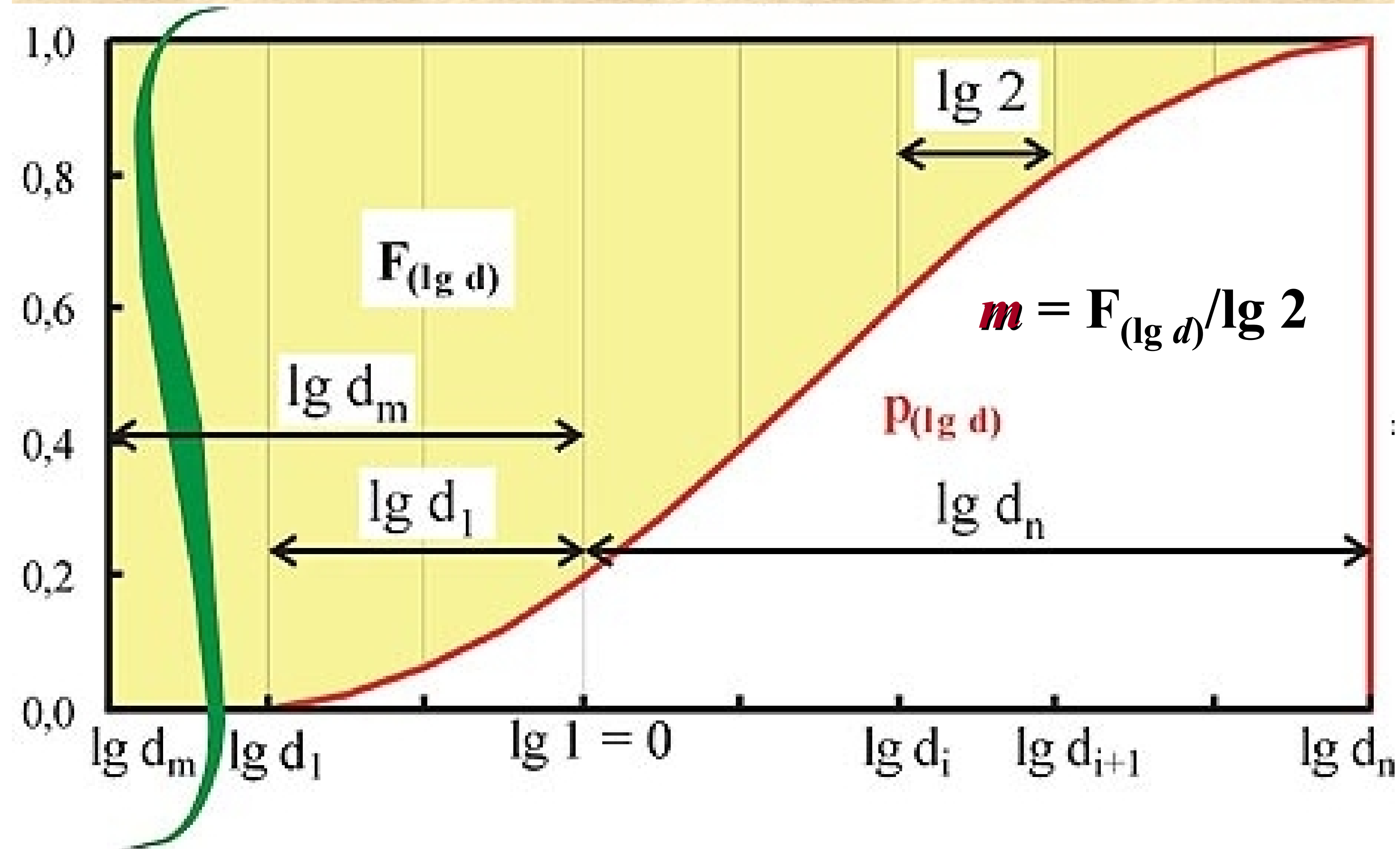
végpontja mindig a $0{,}4 \cdot D_{max}$ mm-hez legközelebb eső szabványos szemnagyságnál legyen.

Az adalékanyag legnagyobb szemnagyságához MSZ 4798-1 szabvány szerinti szemmegoszlási határgörbék tartoznak, a szemmegoszlási határgörbét pedig számszerűen a finomsági modulus (*m*) jellemzi.

Legnagyobb szemnagyság, mm	Szemmegoszlási határgörbe jele		
	A	B	C
	Finomsági modulus		
8	5,70	4,90	4,30
12	6,15	5,30	4,65
16	6,60	5,60	4,80
24	7,10	6,00	5,10
32	7,55	6,35	5,40
48	7,85	6,65	5,55
63	8,20	7,00	5,80

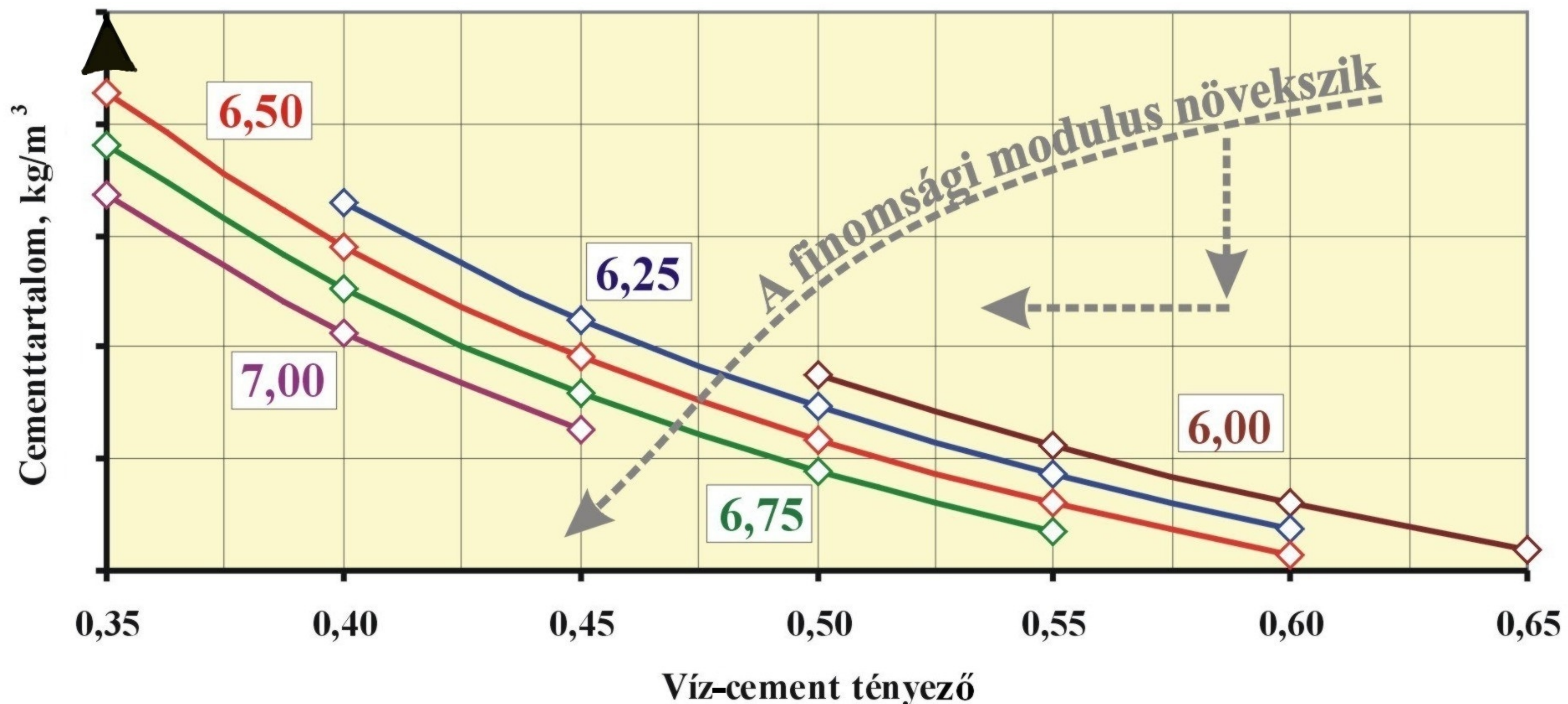
10. Adalékanyag *Abrams*-féle *finomsági modulusa*

Az adalékanyag szemmegoszlását számszerűen az MSZ 4798-1 szabvány szerinti finomsági modulussal (*m*) jellemzzük.

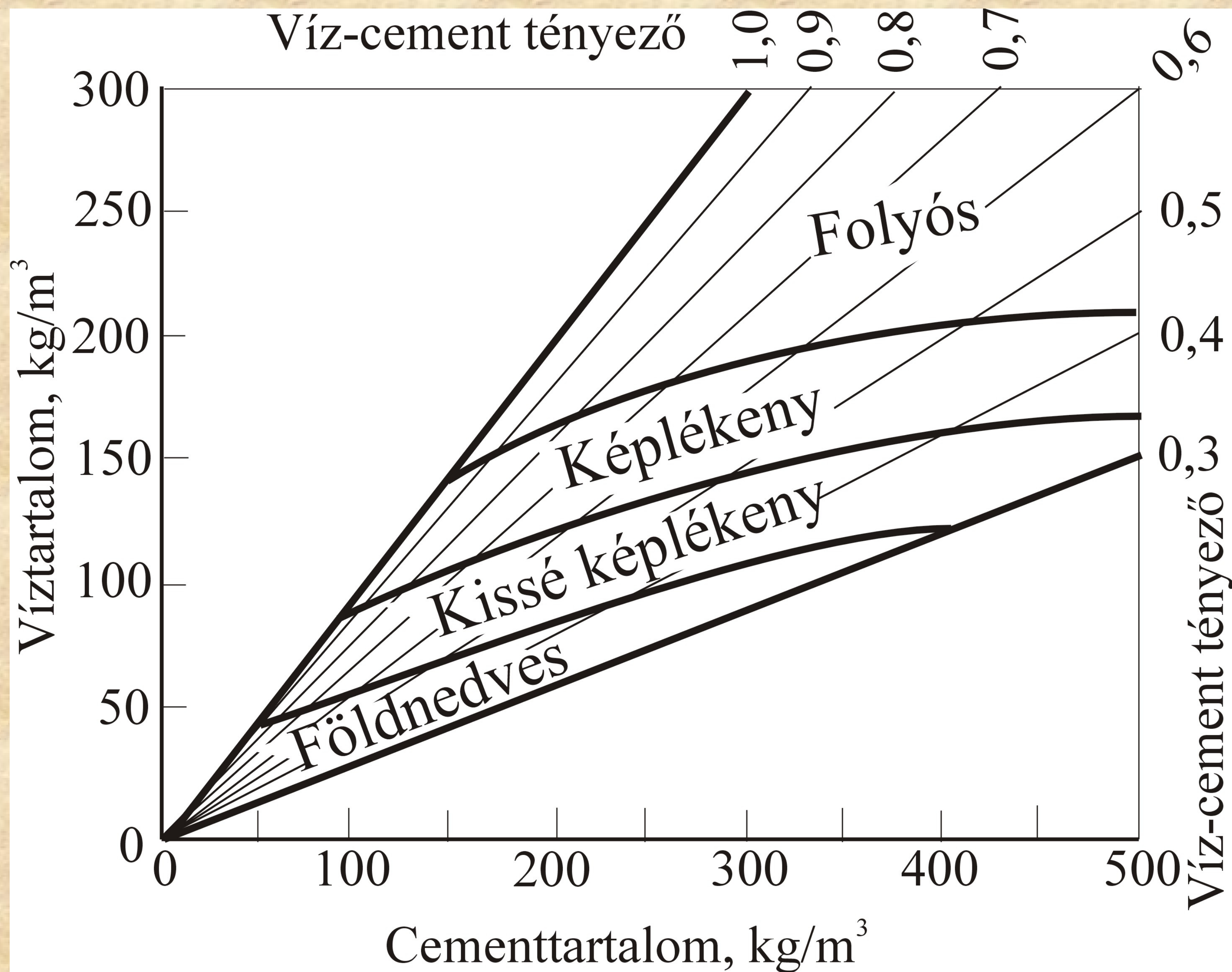


10. Adalékanyag *Abrams*-féle ***finomsági modulusa***

A legnagyobb szemnagyság (D_{max}) növekedésével a finomsági modulus (*m*) általában növekszik, és *nagyobb* *finomsági modulushoz (m)* *általában kisebb optimális* *cementtartalom (c)* *és kisebb* *víz-cement tényező (x)* *tartozik*.



11. A víz- és cementtartalom hatása a friss beton *konzisztenciájára*



12. Friss beton *vízigénye*

A *friss beton vízigényét* a víz-cement tényező (x) és a társított környezeti osztály megkövetelte legkisebb cementtartalom ($M_{c,min}$) szorzataként fogjuk fel: $M_{víz} = x \cdot M_{c,min}$

A *friss beton vízigényét* ($M_{víz}$) például a *Röhling-féle diagramból* vagy a *Springenschmid-féle táblázatból* a D_{max} legnagyobb szemnagyság ismeretében, az adalékanyag szemmegoszlása finomsági modulusának (m) és a beton konzisztenciájának felvétele után, ezek és az adalékanyag vízigénye függvényében becsülhetjük meg.

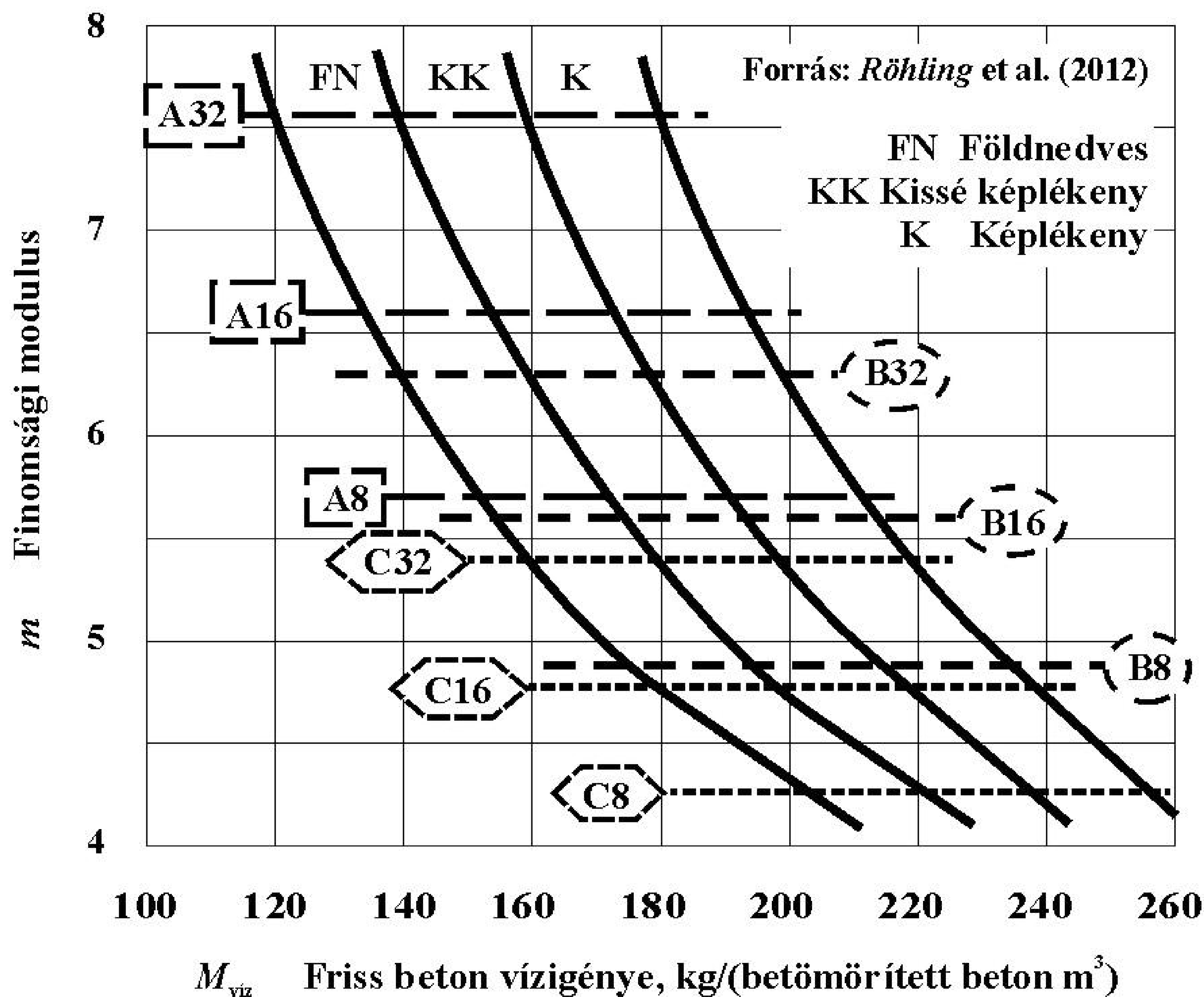
A *Springenschmid-féle táblázatbeli* finomsági modulusok közé eső finomsági modulus esetén a friss beton becsült víztartalma (legkedvezőbb vízadagolása) interpolálással határozható meg.

A *Springenschmid*-féle vízigény táblázatban használt konzisztencia jelölések:

F1 = terülési osztály, földnedves beton
F2 = terülési osztály, kissé képlékeny beton
F3 = terülési osztály, képlékeny beton
S1 = roskadási osztály, kissé képlékeny beton
S2 = roskadási osztály, képlékeny beton
C1 = tömörítési osztály, földnedves – kissé képlékeny beton
C2 = tömörítési osztály, kissé képlékeny – képlékeny beton
C3 = tömörítési osztály, képlékeny – folyós beton

A homokos kavics adalékanyaggal készített friss beton hozzávetőleges vízigénye *Springenschmid* (2007) szerint, kg/(betömörített friss beton m³)

Adalékanyag vízigénye	D_{max}, Adalékanyag legnagyobb szemnagysága, mm								
	8			16			32		
	Szemmegoszlási határgörbe a DIN 1045-2:2008 szabvány L melléklete szerint								
	A8	B8	C8	A16	B16	C16	A32	B32	C32
	Szemmegoszlási határgörbék finomsági modulusa								
	5,70	4,90	4,30	6,60	5,60	4,80	7,55	6,35	5,40
	Földnedves konzisztencia Jele: F1/C1								
Kicsi Nagy	150 155	170 175	185 195	120 140	140 150	175 185	105 130	130 140	160 165
	Kissé képlékeny konzisztencia Jele: S1/F2/C2								
Kicsi Nagy	180 185	195 200	210 225	150 165	175 180	200 210	130 155	160 170	190 195
	Képlékeny konzisztencia Jele: S2/F3/C3								
Kicsi Nagy	205 210	220 225	235 250	175 190	200 205	225 235	150 170	185 195	215 220



Forrás: Röhling et al. (2012)
FN Földnedves
KK Kissé képlékeny
K Képlékeny
FN
KK
K
A32
A16
A8
B32
B16
B8
C32
C16
C8
m Finomsági modulus
8
7
6
5
4
100
120
140
160
180
200
220
240
260
$M_{víz}$ Friss beton vízigénye, kg/(betömörített beton m³)

13. Betömörített friss beton *cementtartalma*

A betömörített friss beton cementtartalmát (M_c) az $M_{víz}$ vízigény (víztartalom) az x víz-cement tényező ismeretében az $M_c = M_{víz}/x$ összefüggéssel lehet kiszámítani. A meghatározott cementtartalom akkor fogadható el, ha kielégíti a társított környezeti osztály legkisebb cementtartalomra vonatkozó követelményét.

Ha a meghatározott cementtartalom a környezeti osztály követelménynél nagyobb, akkor például a tervezettnél nagyobb finomsági modulusú, vagy kisebb vízigényű adalékanyag alkalmazásával kell a cementtartalmat csökkenteni.

Abban az esetben, ha a meghatározott cementtartalom a környezeti osztályban megkövetelt értéknél kisebb, érdemes a finomsági modulus és a cementtartalom egymáshoz illő értékeit a társított környezeti osztály megkövetelte legkisebb cementtartalomból ($M_{c,min}$) kiindulva megkeresni.

A víz-cement tényező törvény alkalmazásával szükség esetén a cement szilárdsági osztálya is megváltoztatható, de ez a lépés annak összes következményével a víz-cement tényező változását is maga után vonja.

14. *Lisztfinomságú szemek* mennyisége

A lisztfinomságú szemek (a 0,125 mm alatt lévő cement, adalékanyag és kiegészítőanyag szemek összessége) technológiailag a beton legfontosabb alkotórésze, mert a lisztfinomságú szemek

- **növelik a friss beton *pép-megtartóképességét*,**
- **csökkentik a *kivérzési és szétosztályozódási hajlamát*,**
- **növelik a *vízigényét*,**
- **befolyásolják a *tömöríthetőségét*,**
- **és jó hatással lehetnek a szilárd beton szövetszerkezetének *tömörségére*.**

A lisztfinomságú szemek túl nagy mennyisége azonban

- **a cementhabarcsot és a friss betont *viszkózussá* (sűrűn folyóssá) teszi,**
- **és túlzottan növeli annak *vízigényét*.**

Lisztfinomságú (0,125 mm alatti) szemek **megengedett legnagyobb mennyisége a DIN 1045-2:2008 szabvány szerint**

Cementtartalom, kg/m³	Lisztfinomságú (0,125 mm alatti) szemek megengedett legnagyobb mennyisége, kg/m³
ha a beton, illetve könnyűbeton nyomószilárdsági osztálya *nem nagyobb*, mint C50/60, illetve LC50/55, és a beton környezeti osztálya XF és/vagy XM	
≤ 300	400
≥ 350	450
ha a beton, illetve könnyűbeton nyomószilárdsági osztálya *nagyobb*, mint C50/60, illetve LC50/55 a beton valamennyi környezeti osztálya esetén	
≤ 400	500
450	550
≥ 500	600

15. Betömörített *friss beton levegőtartalma és térfogata*

A bedolgozott friss beton levegő-tartalmát *számítással* vagy *méréssel* határozhatjuk meg.

A bedolgozott *friss beton levegő-tartalmát* ($V_{L,test}$) a bedolgozott friss beton tényleges (mért) és tervezett testsűrűségének hányadosából, valamint az összetevők tervezett tömegéből – feltételezve, hogy a beméréttel azonos – és sűrűségéből, illetve testsűrűségéből lehet *számítani*.

Az 1 m^3 térfogatú bedolgozott friss beton $V_{L,test}$ tényleges (tapasztalati) levegő-tartalma a friss beton tényleges és tervezett testsűrűsége, a beton tervezett cementtartalma, tervezett víz-cement tényezője, tervezett adalékanyag-tartalma, valamint a cement anyagsűrűsége és az adalékanyag testsűrűsége alapján – feltételezve, hogy a beton keverési aránya a tervezettnek megfelel – a következőképpen számítható ki:

$$V_{L,test} = 1000 - \frac{\rho_{friss\ beton\ tapasztalati}}{\rho_{friss\ beton\ tervezett}} \cdot \left(1000 - V_L\right) =$$

$$= 1000 - \frac{\rho_{friss\ beton,\ test}}{\rho_{friss\ beton}} \cdot \left(\frac{1000 \cdot M_c}{\rho_c} + x \cdot M_c + \frac{1000 \cdot M_a}{\rho_a} \right) \qquad \left[liter / m^3 \right]$$

ahol:

$V_{L,test}$ = a bedolgozott friss beton tényleges levegő-tartalma, liter/m³

$\rho_{friss\ beton,\ test}$ = a bedolgozott friss beton tényleges testsűrűsége, kg/m³

$\rho_{friss\ beton}$ = a bedolgozott friss beton tervezett testsűrűsége, kg/m³

M_c = a beton tervezett cementtartalma, kg/m³

x = a beton tervezett víz-cement tényezője

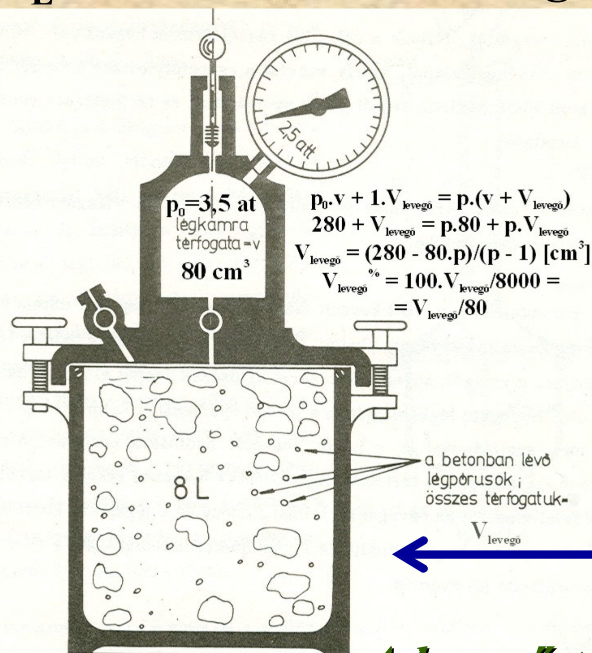
$M_v = x \cdot M_c$ = a keverővíz tervezett tömege, kg/m³

M_a = a beton tervezett adalékanyag-tartalma, kg/m³

ρ_c = a cement anyagsűrűsége, kg/m³

ρ_a = az adalékanyag keverék szemeinek súlyozott testsűrűsége kiszárított állapotban, kg/m³

V_L = a bedolgozott friss beton tervezett levegő-tartalma, liter/m³



Tonindustril gyártmányu levegőtartalom vizsgáló készülék

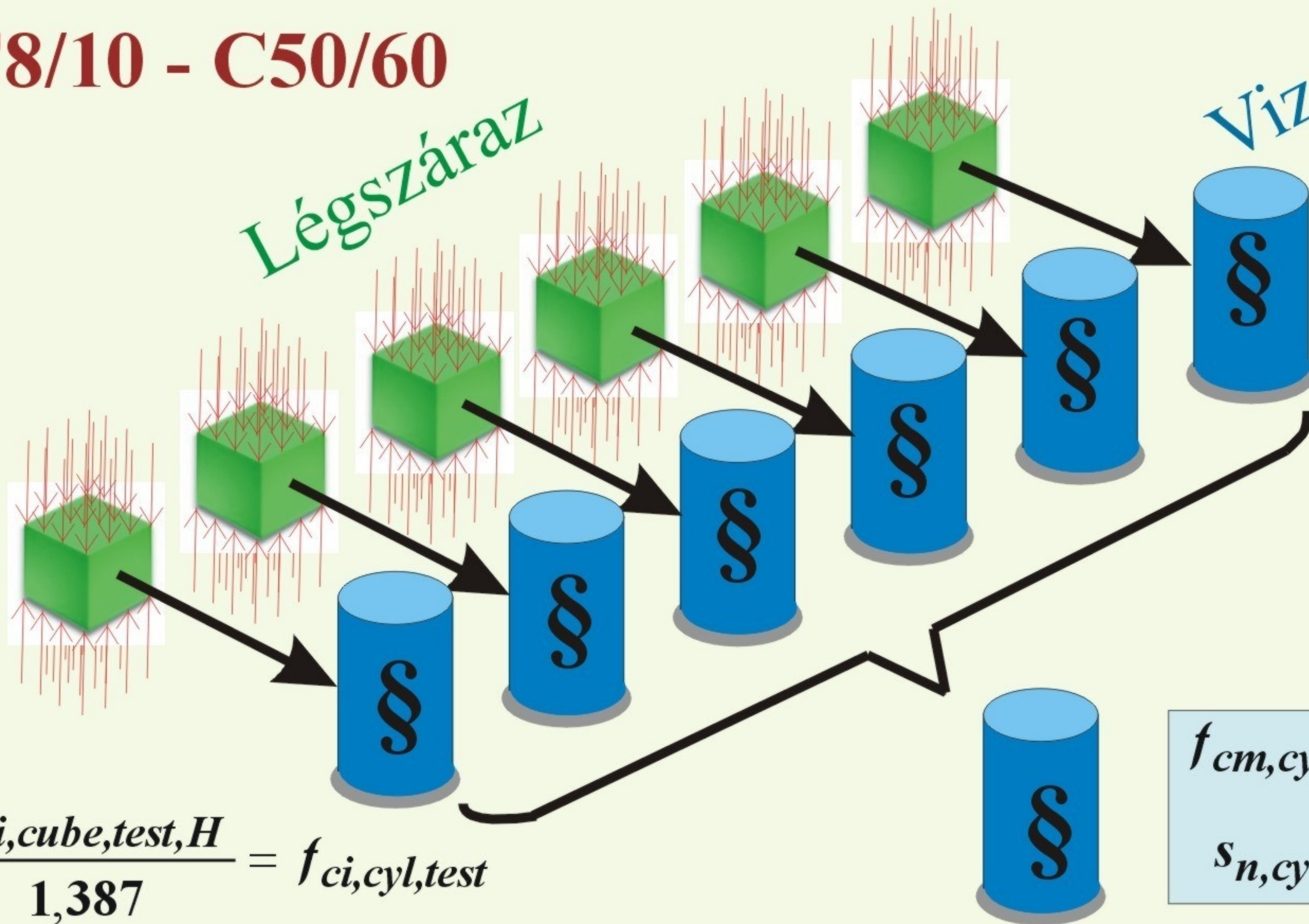
A bedolgozott friss beton tényleges levegő-tartalmát *méréssel* az MSZ EN 12350-7:2009 szabvány szerinti *ún. nyomásmódszerek* valamelyikével lehet meghatározni. A módszer alkalmazásához kétféle készülék áll rendelkezésre:

Az „A” típusú készülék víznyomással működik, és a nyomáscsökkenést méri,

a „B” típusú készülék levegőnyomással működik, és a térfogatcsökkenést méri.

A levegő-tartalom feleljen meg a környezeti osztály követelményének.

16. Nyomószilárdság vizsgálati eredmények *átszámítása végig víz alatt tárolt Ø300·150 mm méretű próbahengeren értelmezett nyomószilárdságra*



VÍZ ALATT | VEGYESEN TÁROLT

HENGER | HENGER

KOCKA | KOCKA

Ø150.300 | Ø150.300

150 | 150 | 200

$$f_{ci,cyl} = 0{,}97 \cdot f_{ci,cyl,H}$$

$$f_{ci,cyl} = 0{,}78 \cdot f_{ci,cube}$$

$$f_{ci,cyl} = 0{,}80 \cdot f_{ci,cube}$$

$$f_{ci,cyl} = 0{,}72 \cdot f_{ci,cube,H}$$

$$f_{ci,cyl} = f_{ci,cyl,H}$$

$$f_{ci,cyl} = 0{,}76 \cdot f_{ci,cube,200,H}$$

$$f_{ci,cyl,H} = 0{,}74 \cdot f_{ci,cube,H}$$

$$f_{ci,cyl,H} = 0{,}78 \cdot f_{ci,cube,200,H}$$

$$f_{ci,cube} = 0{,}92 \cdot f_{ci,cube,H}$$

$$f_{ci,cube,H} = 1{,}06 \cdot f_{ci,cube,200,H}$$

$$f_{ci,cube} = 0{,}97 \cdot f_{ci,cube,200,H}$$

VÍZ ALATT | VEGYESEN TÁROLT

Összefüggések különböző feltételekhez tartozó egyes (vagy átlagos) nyomószilárdságok között C50/60 nyomószilárdsági osztályig bezárólag

Bármely betontervezési módszerrel is dolgozunk, igen fontos, hogy

- **a betontervezés eredményeképpen kapott beton-összetételt laboratóriumi vagy üzemi *próbakeveréssel kipróbáljuk*,**
- **és *ha nem felel meg*, akkor a tervezés kiindulási adatain *változtassunk*.**

Az *átadás-átvételi folyamat* részeként a szerkezetbe beépítésre kerülő

- ***friss betonkeverék összetételét*, *konzisztenciáját*,**
- ***a friss, bedolgozott beton testsűrűségét* és *levegőtartalmát*,**
- ***a 28 napos szilárd beton testsűrűségét* és *nyomószilárdságát* *ellenőrizni kell*.**

Köszönöm a szíves figyelmüket

2011/6/3 14:45